
GRABADO SOBRE MATRICES DE ALUMINIO: ESTRUCTURA Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

Silvia María Hernández Muñoz

Universidad de Zaragoza. Unidad Predepartamental de Bellas Artes

Francisco López Alonso

Universidad de Zaragoza. Unidad Predepartamental de Bellas Artes

Resumen

El siguiente texto investiga el empleo de cinco modelos de planchas de aluminio como soporte alternativo de grabado, sustituyendo a los metales utilizados frecuentemente. Se analiza la composición de las planchas por medio de microscopía electrónica de barrido y se presentan las características principales de las planchas y su composición, fundamental para comprender la resistencia que ofrecen a los medios corrosivos. Como segunda parte del ensayo se establece una comparativa de precios en el mercado entre aluminio, cobre y zinc y se muestran los diferentes tipos de resultados y procesos de grabado que se pueden llevar a cabo sobre el metal. Finalmente se hace un estudio de la reacción química que se produce con cloruro de hierro sobre aluminio, para comparar todos los resultados y establecer cuáles son los mas adecuados para grabar y se presentan ejemplos y se presentan ejemplos exclusivos que se consiguen sobre este material con mordidas en superficie, mordidas por baño y la de impresión planográfica sobre planchas fotosensibles junto con sus resultados.

Palabras clave: ALUMINIO; GRABADO; EXPERIMENTAL; IMPRESIÓN; ARTE CONTEMPORÁNEO

ENGRAVING ON ALUMINIUM PLATES: STRUCTURE AND EXPERIMENTAL RESULTS

Abstract

The following text investigates the use of five models of aluminium plates as alternative etching substitutes for commonly used metals. The composition of the plates is analysed by scanning electron microscopy and the main characteristics of the plates and their composition are presented, which is essential to understand their resistance to corrosive media. As a second part of the test, a price comparison is made between aluminium copper and zinc on the market and the different types of results and etching processes that can be carried out on the metal are shown. Finally, a study is made of the chemical reaction produced with iron chloride on aluminium, in order to compare all the results and establish which are the most suitable for engraving and examples are presented of some exclusive results that can only be achieved by engraving on this material with surface etching, bath etching and planographic printing on photosensitive plates, together with their results.

Keywords: ALUMINIUM; ENGRAVING; EXPERIMENTAL; PRINTMAKING; CONTEMPORARY ART

Silvia María Hernández Muñoz & López Alonso, Francisco. 2023. "Grabado sobre matrices de aluminio: Estructura y resultados experimentales". *AusArt* 11 (1): 15-43. <https://doi.org/10.1387/ausart.24268>

1. Aluminio: Materias primas

Para esta investigación se emplean cinco muestras de aluminio seleccionadas entre las que se encuentran en el mercado, bajo los siguientes criterios: que sean metales de fácil acceso, que estén disponibles en gran parte de los proveedores y que sean económicos. Los soportes seleccionados son los siguientes:

- Muestras 1 y 2. Planchas que se encuentran fácilmente en almacenes de metales de aluminio en bruto sin alear.
- Muestra 3. Metal seleccionado empleado en artes gráficas como matriz impresora insolada con rayos UV o luz actínica.
- Muestra 4. Soporte de aluminio anodizado de la serie 1000, frecuentemente utilizado en construcción, para uso como carpintería exterior disponible en diferentes acabados y en placas de hasta 2.000 x 2.000 mm.
- Muestra 5. Soporte de aluminio lacado, protegido exteriormente con una laca al disolvente que puede ser de diferentes colores, destinado a acabados decorativos y carpintería exterior. Este metal se ha empleado únicamente en ensayos iniciales, al comprobar que no ofrece buenos resultados en ningún procedimiento. No ha sido analizado microscópicamente. Se encuentra fácilmente en talleres de carpintería de aluminio que trabajen con perfilería de aluminio. No es recomendable para grabar, al menos con mordientes para procesos gráficos tradicionales porque la película plástica de protección no permite trabajar adecuadamente con el material.

Análisis estructural (Verhoeven 1975; Diaz-Pache, Alonso & Esbert 1995).

Las matrices se han analizado con un microscopio electrónico de barrido (SEM) y el microanálisis (SEM + EDX) se ha realizado por medio de electrones retrodispersados de Rayos X. Los electrones analizan superficialmente el metal y penetran en él, reportando información sobre los átomos del material mediante ondas de Rayos X que son las que generan información de la morfología del material. El chorro de electrones proyectado, reacciona generando tres tipos de señales: e_1 , e_2 y RX.

- e_1 Son los electrones retrodispersados que rebotan en el material y generan información sobre el número atómico de la muestra. La señal de estos electrones procede de la superficie y de bastantes capas atómicas por debajo.
- e_2 Son los electrones secundarios, expulsados de los átomos por la fuerza de los electrones proyectados sobre el material y configuran la imagen final reflejada en la micrografía, a través de la que se observa el acabado, los defectos superficiales, el pulido del material e incrustaciones de otros elementos.

- e_3 Son desalojados por el haz de electrones y se convierten en ondas de RX que salen hacia el exterior. Aportan información sobre la composición química básica de la zona estudiada donde se realiza el ensayo. La longitud de onda característica del RX es la diferencia de energía de e_3 a e_2 que caracteriza a cada átomo, a partir de la que se conoce la composición.

Las siguientes micrografías se han realizado por microscopía electrónica de barrido MEB a diferentes aumentos, generando información sobre el acabado exterior y la estructura de los metales. Las propiedades físicas de éstos están determinadas por su microestructura, esto quiere decir que dependiendo del material que se observe a la lente, de su acabado, el pulido superficial, la textura o como esté conformado, se puede prever como reaccionará frente a distintos agentes químicos, cuáles lo atacan y por qué razones. En este estudio, se han realizado micrografías para visualizar las impurezas observadas en las matrices, siendo analizadas desde 50 hasta los 8.000 aumentos. También se ha hecho un análisis por difracción de Rayos X, que mediante las diferentes interacciones que se producen sobre el metal, consigue visualizar su composición. Los análisis de las muestras se han realizado en el departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica y los laboratorios de Microscopía, de la Escuela Politécnica Superior, de la Universidad Carlos III de Madrid.

El orden de las muestras de los análisis presentados en la investigación es el siguiente:

Plancha 1. (Al) Aluminio puro

Son planchas con un espesor de 0,5 mm que se han empleado en todos los ensayos del estudio. Ocasionalmente se utiliza el mismo metal pero con espesores de 0,8 mm, 1 mm y 1,5 mm. También se han utilizado estas planchas pero con la superficie texturada para hacer grabados con técnicas aditivas, collages, recortes, soldaduras y técnicas de unión entre otras. Este metal se encuentra fácilmente en almacenes al igual que el cobre y el zinc, o en talleres donde se realice la fabricación propia del metal y aleaciones en chapas o placas de aluminio. Se encuentra fácilmente a través de distribuidores o grandes almacenes del sector.

En los diferentes ensayos del metal y microscopías realizadas se aprecia que la superficie muestra las rayas paralelas del procesado y pulido del material, con imperfecciones superficiales que permanecen al pulido como defectos morfológicos. Están compuestas químicamente de aluminio como elemento mayoritario y hierro como impureza en algunas morfologías que se detectan a altas resoluciones.

La primera matriz está compuesta de aluminio puro de 0,5 mm de espesor. Es una plancha blanda y no está recubierta con ningún tratamiento superficial. Por su dureza, sufre con facilidad desgaste por fricción al entintar la plancha y limpiarla. Para evitarlo se puede hacer con un taco de goma, una muñequilla o con rodillo, de esta manera el desgaste es menor y el metal aguanta una edición de un mayor número de copias. Permite ediciones de 100 ejemplares en procesos tradicionales de aguafuerte y aguatinta, entintando de modo habitual con rasqueta y realizando la limpieza de la superficie con tarlatana.

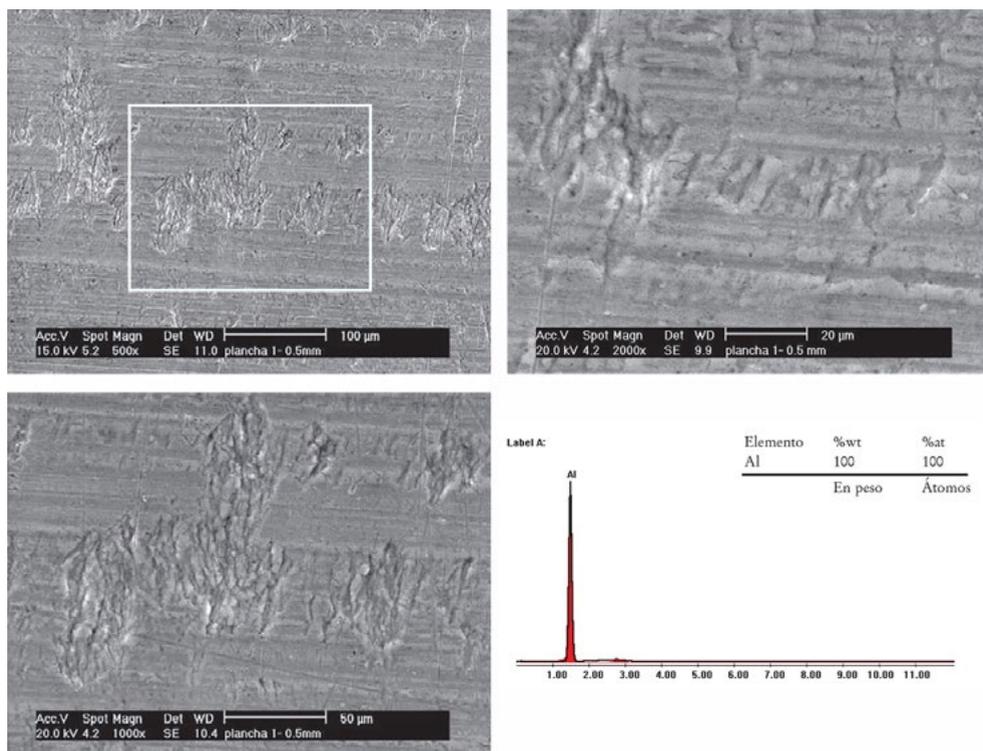


Figura 1

- Imagen superior izquierda. Micrografía de la superficie analizada por SEM sin pulido ni atacado con ninguna solución. Acabado superficial de la plancha n.º 1 donde se aprecian imperfecciones superficiales. Plancha de 0,5 mm de espesor, textura y huella del proceso de pulido (x 500).
- Imagen inferior izquierda. Detalle del acabado de la superficie metálica (x 1000).
- Imagen superior derecha. Detalle del acabado de la superficie metálica. (x 2.000).
- Imagen inferior derecha. Análisis semicuantitativo superficial modo RASTER (EDX) de la figura superior. (Rectángulo blanco).

Como se aprecia en la micrografía superior derecha y en la gráfica, la totalidad de la superficie está compuesta de aluminio. Se observa la aparición

de pequeñas impurezas blancas aunque no son de elementos aleantes. El estudio de las escorias analizadas en la imagen superior, da como resultado una composición de las partículas, con alto porcentaje de aluminio e impurezas de hierro.

Plancha 2. Aluminio puro. (Al)

Aluminio puro. Es una plancha con características similares a la anterior pero con 2 mm de espesor y se encuentra con facilidad en almacenes de metales. Se consiguen resultados similares a los obtenidos con el metal anterior. Con los análisis del metal se observan penetraciones y grietas de pulido con defectos morfológicos asimétricos no relevantes.

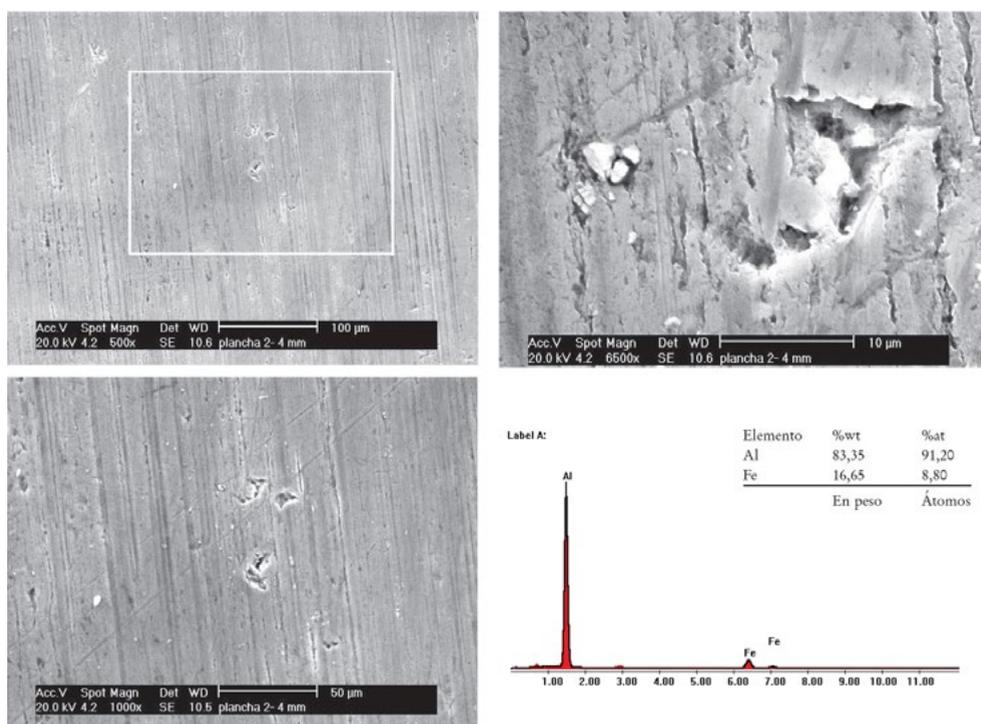


Figura 2

- Imagen superior izquierda (x 500). Micrografía del acabado superficial de la plancha n.º 2, con textura y huella del proceso de pulido.
- Imagen inferior izquierda. (x 1.000) Detalle de la imagen anterior.
- Imagen superior derecha. Análisis de las impurezas del metal caracterizadas por el color blanco. (x 6.500).
- Imagen inferior derecha. Resultado del análisis semicuantitativo por puntos modo BEAM POINT, (EDX) de las impurezas recuadradas en blanco en la imagen superior.

En la referencia de las figuras anteriores se observa una superficie regular con algunas imperfecciones y las líneas de pulido están más marcadas que en la muestra n.º 1, aunque sobre la anterior son más notables las imperfecciones del metal. Como se muestra en la micrografía, la composición química de las impurezas seleccionadas es aluminio como elemento mayoritario, junto con hierro y algo de oxígeno que intuye la presencia de fases de impurezas superficiales, bien de hierro o de óxido de hierro.

Plancha 3. (Al). Planchas de impresión offset. Artes gráficas

Aluminio de fotomecánica (offset). La mayor parte de las ocasiones se presenta comercialmente en el mercado en forma de placa de 0,15 y 0,3 mm de espesor y en muchos formatos aunque en formatos grandes también se producen planchas de 0,4 mm. Esencialmente presenta la ventaja del bajo peso en relación a otros soportes y el precio más económico. Los proveedores de este material de artes gráficas son Kodak, Fuji y Agfa.

La variedad de planchas de fotomecánica es muy amplia, aunque la composición química y el tratamiento superficial de todas las casas comerciales es muy parecido. Actualmente es un material muy desarrollado y se encuentra con facilidad. Existen planchas para procesado con insoladora y revelado con productos químicos y planchas que se procesan y filman directamente. Es un producto de aluminio laminado donde el tamaño llega a ser mayor a 1.260 x 1.630 mm, lo que permite realizar trabajos de gran formato con un coste muy bajo. La composición de la base es idéntica para todos los fabricantes y sobre ésta, tienen una capa de silicón y una emulsión para la reacción de la fotolitografía (Davies & Hiroshi 1983; López Isla 1978; Jokinen & Andersson 1990).

A diferencia del cobre y zinc, son planchas tratadas térmicamente que permiten enrollarse en cilindros y volver a su posición original una vez impresas y el trabajo con recortes de matriz, collages, ensamblados, troqueles y variantes de estas opciones es muy sencillo. La incisión por corte es muy cómoda. El corte del metal incluso en planchas de 0,4 mm se realiza de modo sencillo con un cúter. Labor muy compleja sobre cobre y zinc, en la que se requiere el uso de guillotina para su corte y donde no se puede recortar en formas curvas, orgánicas y otras. También el empleo para grabado de estos soportes por el reverso, ofrece una reutilización de las matrices con múltiples posibilidades para procesos tradicionales como se muestra en las imágenes incluidas en el artículo.

Las matrices de artes gráficas sobre las que se ha trabajado y por lo tanto sobre las que se han realizado los análisis estructurales de su composición por microscopía electrónica de barrido, han sido matrices de Kodak, Agfa y Fujifilm (Ruiz Navas 1999; Ruiz Navas, Delgado & Torralba 2000).

Son planchas que están anodizadas, emulsionadas y endurecidas térmicamente para enrollarse fácilmente sobre los cilindros de las máquinas de

fotomecánica, ser resistentes y aguantar tiradas altas de ejemplares. Este tratamiento es una ventaja que el soporte incorpora, pues el endurecido influye también en la protección de la plancha contra el desgaste.

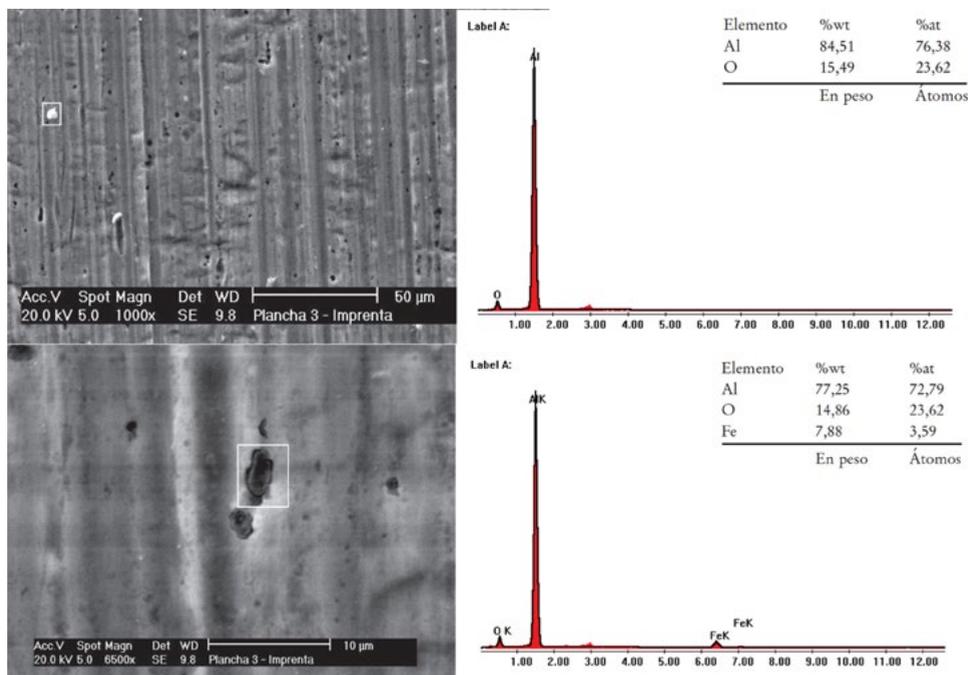


Figura 3

- Imagen superior izquierda. Micrografía de la superficie analizada por SEM sin pulido ni atacado con ninguna solución. Acabado superficial de la plancha de 0,3 mm de espesor, textura y huella del proceso de pulido. (x 1.000).
- Imagen inferior izquierda. Micrografía a 6500 aumentos. Detalle.
- Imagen superior derecha. Análisis semicuantitativo por puntos modo BEAM POINT, (EDX) de la impureza remarcada en blanco en la imagen superior. El análisis revela que en la composición del metal hay trazas de oxígeno.
- Imagen inferior derecha. Análisis semicuantitativo por puntos modo BEAM POINT, (EDX) de las impurezas enmarcadas en la imagen inferior izquierda. Presenta impurezas de óxido de hierro.

Sobre la emulsión, para realizar imágenes fotográficas a partir de fotolitos o filmando directamente las planchas, estos soportes ofrecen unas posibilidades de impresión excelentes y un punto muy pequeño. Son resistentes, duraderas, de gran calidad y permiten la reproducción exacta de la línea más fina o el punto más pequeño. La amplia latitud durante la exposición y el revelado ayuda a obtener resultados consistentes. El perfecto equilibrio agua/tinta ofrece excelentes resultados en prensa y una durabilidad de la matriz que permite imprimir ediciones largas. Las áreas de imagen y no imagen son resistentes a la abrasión, a los disolventes de tintas y a un

amplio surtido de químicos de impresión, dando unos resultados en prensa muy fiables.

Su composición metálica es idéntica a la de las planchas que se utilizan en la actualidad para algrafía. Según los ensayos de las micrografías presentan una rugosidad superficial más acusada que las muestras anteriores, impurezas blancas y pequeñas motas negras que según el análisis realizado son producto de la laminación. Idéntica composición que las planchas 1 y 2, pero con más rayas de pulido. El análisis químico presenta aluminio como elemento mayoritario e impurezas superficiales de óxido de hierro.

Plancha 4. Aluminio anodizado. (Al)

Aluminio anodizado. Se trabaja con placas de 0,5 mm de espesor aunque existen en el mercado otros espesores. Se encuentra fácilmente en almacenes de metales y talleres de carpintería metálica que trabajan perfilera en aluminio o a través de distribuidores. Presenta una morfología globular orientada linealmente, típica de materiales con tratamiento superficial. La composición de este metal es aluminio con oxígeno, Al y Al_2O_3 , composición de la alúmina como muestra la imagen 4.

En las impurezas se encuentran trazas de carbono, procedentes del recubrimiento crítico controlado al que se somete la plancha para que sea conductora y se pueda realizar el ensayo.

La matriz está aislada superficialmente con una película de óxido que la protege de los agentes ambientales. Este acabado superficial tiene un espesor de aproximadamente 50 μ que impiden la profundización de los rayos en la microfotografía. Las imágenes resultantes de los análisis presentan figuras circulares con el óxido del metal y reflejan el tratamiento superficial de las planchas. En los modelos empleados se aprecia el pulido en forma de líneas paralelas. No se intuyen grandes oquedades ni elementos aleantes.

El anodizado es un tratamiento electroquímico con el que se forma una capa de óxido sobre algunos metales y aleaciones, que resiste a la corrosión, oxidación y deterioro por fricción. Es una fina capa que se puede levantar rayando el material con buril, cúter, puntas y otros elementos punzantes. Cuando se elimina la protección de la superficie, el metal queda expuesto a la corrosión de la solución. Sobre aluminio, la mordida se realiza atacándolo tanto en profundidad como lateralmente.

Este material se puede emplear para realizar grabados al agua fuerte, atacando con grandes mordidas en profundidad. Para trabajar con este método no hace falta reservar la matriz, porque las placas por su tratamiento aguantan las corrosiones químicas. También sirve como soporte para técnicas de grabado matérico, aditivo, recortes o collages.

El anodizado protege ante la mordida consiguiendo unos resultados similares a la punta seca o al agua fuerte, con un ensanchamiento de la

línea. Se han realizado análisis microscópicos de entre 500 y 6.500 aumentos para analizar las matrices.

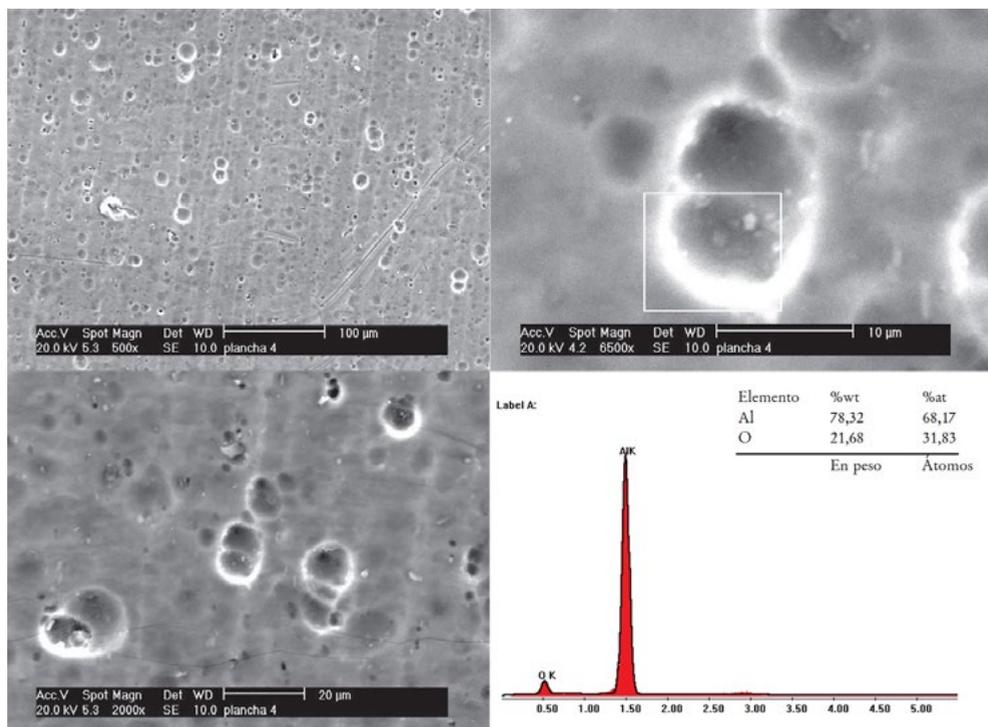
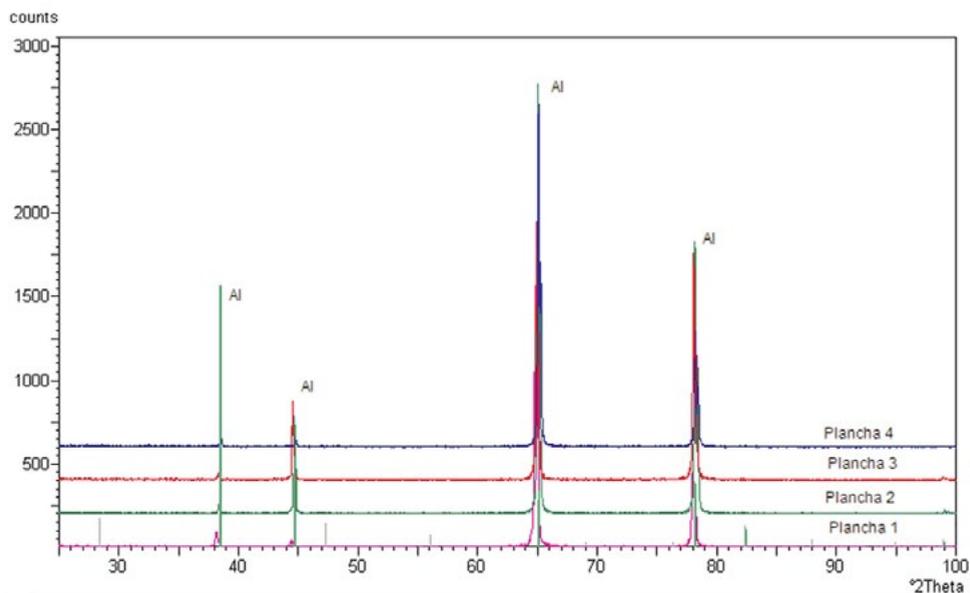


Figura 4

- Imagen superior izquierda. Micrografías de la superficie analizada por SEM. Acabado superficial de la plancha n.º 4 donde se aprecia la morfología típica de tratamientos superficiales. Plancha anodizada n.º 4, de 0,5 mm de espesor. (x 500)
- Imagen inferior izquierda (x 2.000)
- Imagen superior derecha. Plancha n.º 4. Ampliación tratamiento anodizado. (x 6.500).
- Imagen inferior derecha. Análisis semicuantitativo por puntos modo BEAM POINT, (EDX) del fragmento recuadrado en blanco en la imagen superior derecha.

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis por difracción de Rayos X de las diferentes planchas empleadas en la investigación. Como se puede observar en la imagen 5 aparecen superpuestos los cuatro difractogramas. Existen cuatro picos de difracción que coinciden en todas las planchas tal y como puede verse en la gráfica inferior. Este resultado revela que no existen diferencias sustanciales en la composición de las distintas planchas.

Los valores que presenta la figura 5, coinciden perfectamente con los de la tabla, que presenta los valores exactos del aluminio. Se concluye con la afirmación de que la composición de las diferentes planchas es básicamente de aluminio puro.



°2 theta	d _{hkl}	hkl	I/I ₀
38,2	2,33	(111)	50
44,5	2,02	(200)	20
64,8	1,43	(220)	100
78,0	1,22	(311)	60

Figura 5

Difracción de Rayos X realizada sobre las matrices que ofrecen buenos resultados en el estudio.¹

2. Comparativa de la dureza del aluminio con cobre, zinc y otros metales

La dureza es una de las cualidades más importantes del aluminio, porque de ella depende el número de ejemplares que se pueden imprimir en cada edición. Por eso cabe mencionar un apartado especial para esta característica y los recubrimientos electrogalvánicos que permiten las planchas.

La tabla 6 muestra la dureza de diferentes metales de referencia en el mercado a partir de la escala de durezas Brinell. Entre ellos se encuentra el aluminio, latón, zinc y cobre, empleados habitualmente en grabado.

La escala establece el aluminio como elemento más duro y resistente por fricción al desgaste que el zinc y por tanto, del se pueden sacar más copias que sobre este metal pero menos que sobre cobre (Ruiz Navas 1999; Ruiz Navas, Delgado & Torralba 2000).

METAL PLANCHAS	DUREZAS BRINELL MECANIZADO O FUNDIDO
ORO	6
ZINC	40 - 50
PLATA	25 - 75
ALUMINIO	52
COBRE	40 - 100
HIERRO	75 - 125
BRONCE FUNDIDO	98
BRONCE	127
LATÓN	75 - 140
NÍQUEL	75 - 300
NIQUELADO DURO	150 - 200
ACERO BLANDO	280
ACERO DURO	900
CROMO DURO	900 - 1.200

Tabla 6

Escala de durezas Brinell (Paricio Latasa 1984, 46). Muestra la dureza del aluminio y otros metales.²

Como se ha indicado en el apartado *plancha 3. (Al) Planchas de impresión offset. Artes gráficas*, donde se ha analizado la estructura y composición de este soporte, estas matrices presentan por el reverso de la emulsión un tratamiento térmico que endurece la superficie y permite ediciones grandes de ejemplares, por lo que la dureza del material es mayor que la del aluminio convencional distribuido en almacenes. Como desventaja, es un metal que tiene una baja resistencia a la fatiga rompiéndose con facilidad por dobleces o plegados sucesivos.

La dureza del aluminio influye en las ediciones, ya que mientras más alta sea, más copias se pueden imprimir. Igual que el cobre y zinc todas las aleaciones ligeras, excepto aluminio anodizado y aluminio lacado, se pueden cromar, niquelar y acerar, entre otros endurecimientos superficiales. De entre los recubrimientos electrolíticos el más duro, eficaz y el que menos altera la imagen grabada por la capa del baño, es el cromado de 3 μ de espesor. Su resultado es excelente y permite hacer ediciones de gran tiraje sobre cualquier metal.

3. Comparativa de precios en el mercado de aluminio, cobre y zinc

Se establece a continuación una comparativa de los precios en el mercado de los principales metales empleados en grabado y la alternativa del aluminio.

Se comienza estableciendo el precio en mercado de los modelos de planchas empleadas de aluminio. En el caso de las planchas empleadas en artes gráficas se publica el tipo de plancha, el espesor, formato, el precio por unidad y por metro cuadrado. En relación al anterior se publican los datos relativos a las planchas de cobre y zinc. De la comparativa se desprende que el metro cuadrado de planchas de aluminio respecto al cobre es 43 veces más económico y 12,5 veces más que el zinc.

Los datos son referidos al año 2022 con tarifas de almacén y distribuidor.

ALUMINIO

– Muestras número 1 y 2 de aluminio puro. Se encuentran disponibles en el mercado con espesores de 0,5 - 0,8 - 1 - 1,5 y 2 mm. Precio por m².³

- Placas de 0,5 mm, 9 €/m².
- Placas de 0,8 mm, 16 €/ m².
- Placas de 1 mm, 18 €/ m².
- Placas de 1,5 mm, 27 €/ m².
- Placas de 2 mm, 36 €/ m².

– Muestras número 3. Planchas Fujifilm Superia de artes gráficas. Agfa y Kodak Polycrome. Se encuentran disponibles en el mercado con espesores

de 0,15 - 0,3 - 0,4 mm y dependiendo de los formatos se distribuyen en paquetes de 50 ó 100 unidades.

Las planchas Fujifilm Superia⁴:

- Fujifilm Superia GPlus 0,370x450x0,15 – 0,95 €/plancha (paquetes 100 uds) Precio 5,70 € m²
- Fujifilm Superia 400x510x0,15 – 1.25 €/plancha (paquetes 100 uds) Precio 6,12 € m²
- Fujifilm Superia 459x525x0,15 – 1.45 €/plancha (paquetes 100 uds) Precio 6,06 € m²
- Fujifilm Superia 605x745x0,30 – 2.85 €/plancha (paquetes de 50 uds) Precio 6,323 € m²
- Fujifilm Superia Plancha PLE 1630x1260x0,40 mm – 13.05 €/plancha (paquetes 15 uds) 6,35 € m²

Muestra número 4. Placas de aluminio anodizado, con incrustaciones de hierro

Disponibles en el mercado, principalmente con los siguientes espesores:

– Muestras número 4. - Placas de 0,4 - 0,5 - 0,7 mm de espesor. Precio aproximado de 14 €/m².⁵

– Muestras número 5. - Placas de aluminio lacado

Se encuentran disponibles en el mercado principalmente con los siguientes espesores.

- Placas de 0,4 - 0,5 - 0,7 mm de espesor. Precio aproximado de 15-18 €/m².

COBRE

Disponibles en el mercado con precios de distribuidor desde 0,5 mm hasta 2mm.

- 0,5 mm de espesor, 161 €/m².
- 0,8 mm de espesor, 260 €/m².
- 1,0 mm de espesor, 322 €/m².
- 2,0 mm de espesor, 644 €/m².

ZINC

Disponibles en el mercado en diferentes espesores y calidades desde 0,4 mm, hasta 2 mm de espesor.

- Zinc industrial de 0,4 mm, planchas de 200x100, 75 €/m². (Referencia tarifas Ferretería Subero, Ferretería Del Olmo, Ronda de Segovia, 4 Dup. Madrid)
- Zinc industrial de 0,8 mm, planchas de 80 €/m².
- Zinc industrial de 1,0 mm, planchas de 105 €/m².

4. Reacciones y resultados de los procesos de grabado sobre aluminio

A partir de la investigación se establece la siguiente clasificación de resultados:

- 4.1.- Mordidas en superficie
- 4.2.- Mordidas por baño
- 4.3.- Impresión planográfica sobre planchas fotosensibles

4.1.- Mordidas en superficie

En mordidas en superficie, el óxido de hierro y la profundidad de la mordida son mayores, mientras mayor cantidad mordiente se añada sobre la matriz. En el caso del aluminio el mordiente empleado es cloruro de hierro III líquido en máxima concentración a 40°Ba. Mientras mayor sea la concentración, la reacción es más virulenta y la profundidad de la talla mayor. Se constata que la adicción continuada de cloruro de hierro sobre los metales, una vez ha comenzado la reacción, hace que se genere una mayor profundidad de la mordida y por tanto los tonos en la estampación sean mas intensos.

La temperatura ambiente elevada hace que la plancha se caliente y la fluidez del medio aumente favoreciendo el transporte de los electrones, consiguiendo una mayor velocidad de corrosión. La función del líquido es la propagación y expansión de oxígeno, hidrógeno y agentes disueltos sobre la matriz para que ataquen al aluminio.

En mordidas en superficie, dependiendo de la temperatura ambiente, el proceso de iniciación y corrosión será mayor o menor. Con los cambios de temperatura la velocidad de corrosión es muy diferente. Estos valores pueden variar hasta un 50%, incluido el período de iniciación que puede retardarse y desembocar en una mordida lenta e irregular.

Si hay un calentamiento de las planchas, el proceso de incubación de la corrosión será menor y la mordida será más agresiva que a temperatura ambiente (Birks & Meier 1983).

Estas corrosiones pueden ser lineales, derivando en mordidas muy rápidas y descontroladas originadas por la variante térmica y por la acción de los residuos de corrosión depositados en la superficie, que transforman la mordida en una función parabólica. Este tipo de reacciones tienen un período de actuación muy corto. En el momento que el líquido electrolítico se elimine, la reacción pasa a un estado de corrosión muy lento. Este proceso tiene dos fases principales, la fase de iniciación, en la que comienza el contacto de la solución líquida con el material metálico y empieza la propagación de la reacción. En esta, el efecto de la corrosión no es muy acusado, no se aprecia claramente ningún tipo de mordida que pueda ser interesante al aplicarlo en grabado, en este momento es cuando se pueden producir mordidas por picaduras, o pequeñas corrosiones por accidentes que tenga la matriz o por no haber reservado bien la plancha. Estos pequeños

accidentes se dan por estar expuestas partes del material metálico al medio corrosivo sin interponer ninguna resistencia a los agentes químicos. Si se realiza una mordida en superficie hay que tener en cuenta que la plancha de aluminio está totalmente recubierta de alúmina y puede que al corroer la superficie se dañe la matriz con pequeños arañazos imperceptibles a simple vista. Estas son las zonas donde el material no ha podido regenerar una capa de óxido y al comenzar la corrosión es el primer lugar por donde se comienzan a notar los efectos. Son, por tanto, las zonas arañadas o más débiles en las que se empieza a ver el proceso de iniciación y por donde comienza a generarse esta corrosión.

La iniciación de la corrosión tiene lugar cuando comienza a reaccionar el mordiente, cediendo electrones y dando lugar a sulfuros, óxidos de la corrosión, sales y gases. En grabado sobre aluminio se percibe notablemente la iniciación de la mordida. En los ensayos realizados dentro de los procesos se dan las siguientes fases:

- Proceso de iniciación
- Inicio de la reacción exotérmica
- Activación de la corrosión
- Actuación de la solución
- Saturación de la corrosión
- Evaporación del agua
- Desaceleración de la reacción
- Ralentización de la mordida
- Paro de la reacción

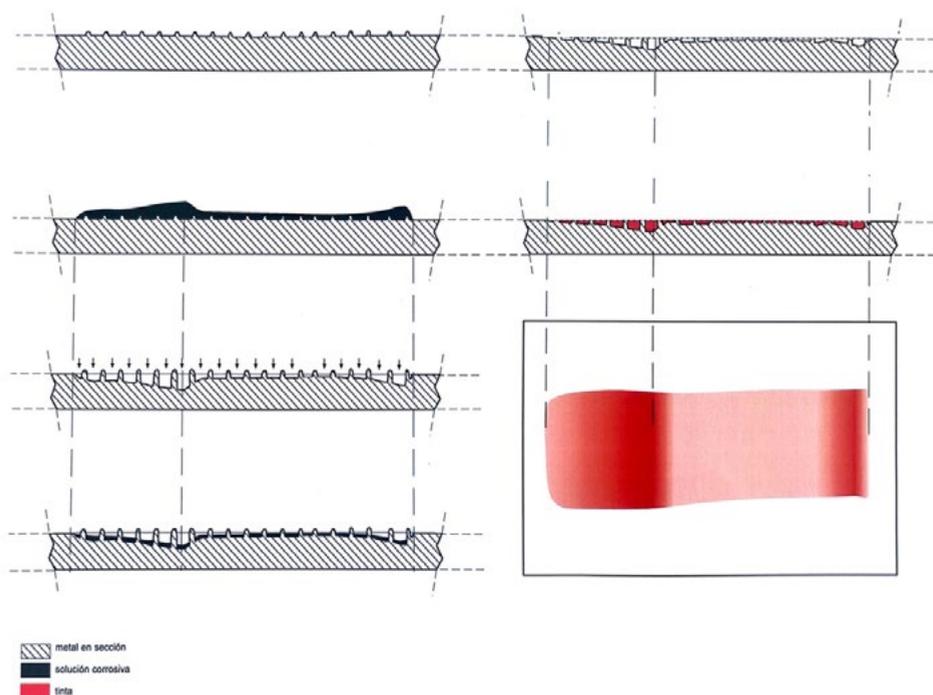


Figura 7

Gráfico de creación propia. Fases de mordida en superficie

La reacción química que se produce al trabajar con Cloruro de hierro III FeCl_3 sobre aluminio⁶ es: El FeCl_3 reacciona con agua y da lugar a una especie hidratada $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ (disuelta) que evoluciona generando la especie trihidróxido de hierro $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (disuelto) + $\text{HCl}(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}$. El $\text{HCl}(\text{g})$ cuando se disuelve en agua es el agua fuerte, que es muy corrosiva. La reacción es muy exotérmica (desprende mucho calor). El $\text{Fe}(\text{OH})_3$ si pierde agua se transforma en óxido de hierro Fe_2O_3 que es lo que se denomina herrumbre y es el sólido de color marrón. Si la reacción se lleva a cabo sin agua, reacciona con la humedad del ambiente, es decir, la reacción es la misma aunque con un proceso y mordida mas lenta.

Con el Al reacciona el HCl $\text{Al} + \text{HCl} \rightarrow \text{AlCl}_3$ (sólido blanco que se observa) + $\text{H}_2(\text{g})$. El hidrógeno es muy inflamable, con lo que se debe tener cuidado por el riesgo de explosión.⁷



Figura 8

Grabado realizado por medio de mordidas en superficie.

Grabado a dos tintas. Dimensiones 56 × 75 cm. Impreso sobre papel Arches de 300gs.

4.2.- Mordidas por baño

Para morder en baño se han realizado 63 ensayos con diferentes soluciones químicas sobre planchas de aluminio, donde se ha comprobado que el metal ofrece numerosos resultados basados en formulaciones a partir de preparados básicos de cloruro de hierro mezclados con otros compuestos químicos. La concentración estándar preparada para morder sobre estas planchas está formulada para trabajar a 20 °C, pero dependiendo de la temperatura del medio, del ambiente y del metal, el porcentaje de cloruro de hierro y de los demás compuestos puede variar. La concentración básica es la siguiente:

Solución de 500 cm³.

- 73 % agua
- 18 % cloruro de hierro
- Aproximadamente 9 % de alcohol
- Entre 16 y 22 g de sulfato de cobre

A partir de la preparación anterior cuando la temperatura es ligeramente superior, se puede mantener el porcentaje de cloruro de hierro, pero se debe reducir el volumen de sulfato de cobre hasta por debajo de 16 g para cada 500 cm³ de disolución. De este modo, se evitan corrosiones incontroladas. En caso contrario, cuando la temperatura es inferior a 15 °C, se puede aumentar el porcentaje de cloruro de hierro hasta el 22% del volumen y hasta los 25 g de sulfato de cobre para la misma medida. Las anteriores proporciones sirven para realizar mordidas regulares desde los 5 °C hasta los 20 °C.

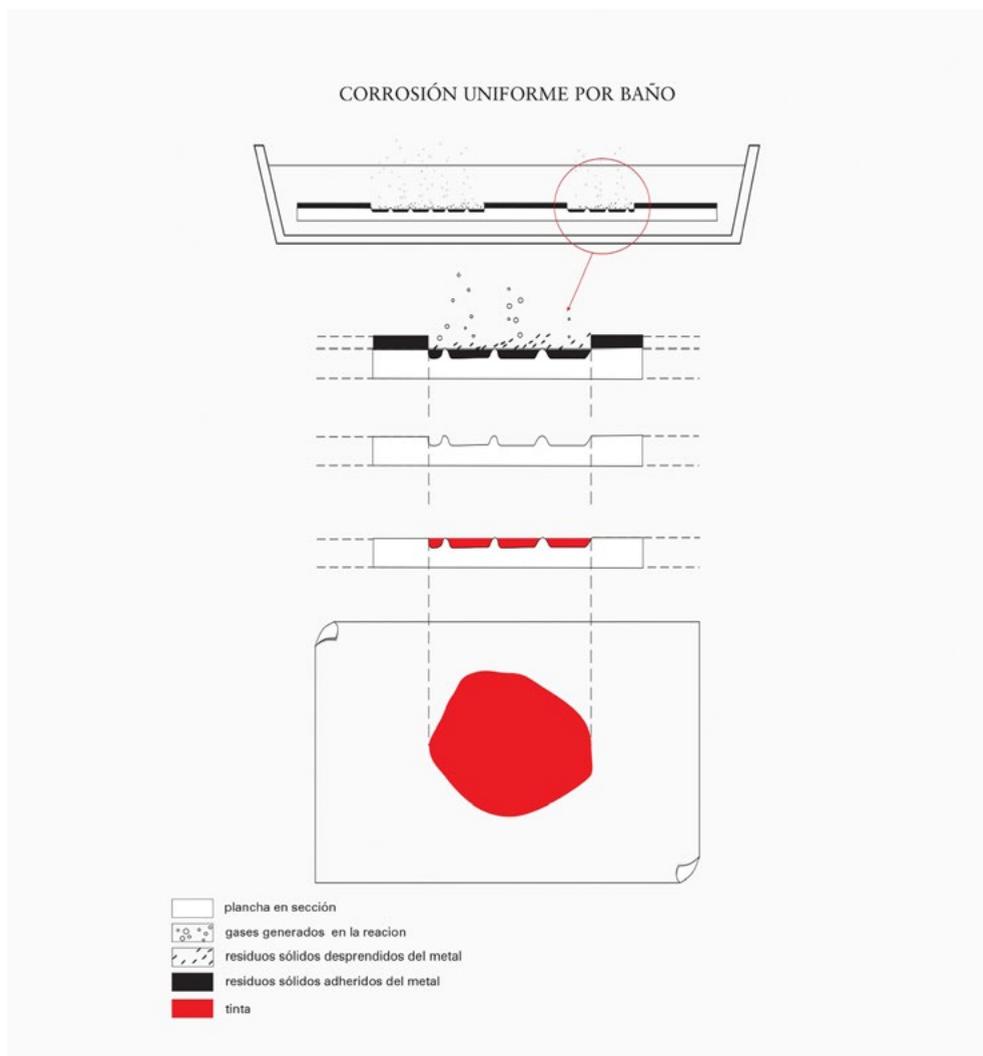


Figura 9
Gráfico de creación propia. Esquema de mordida por baño

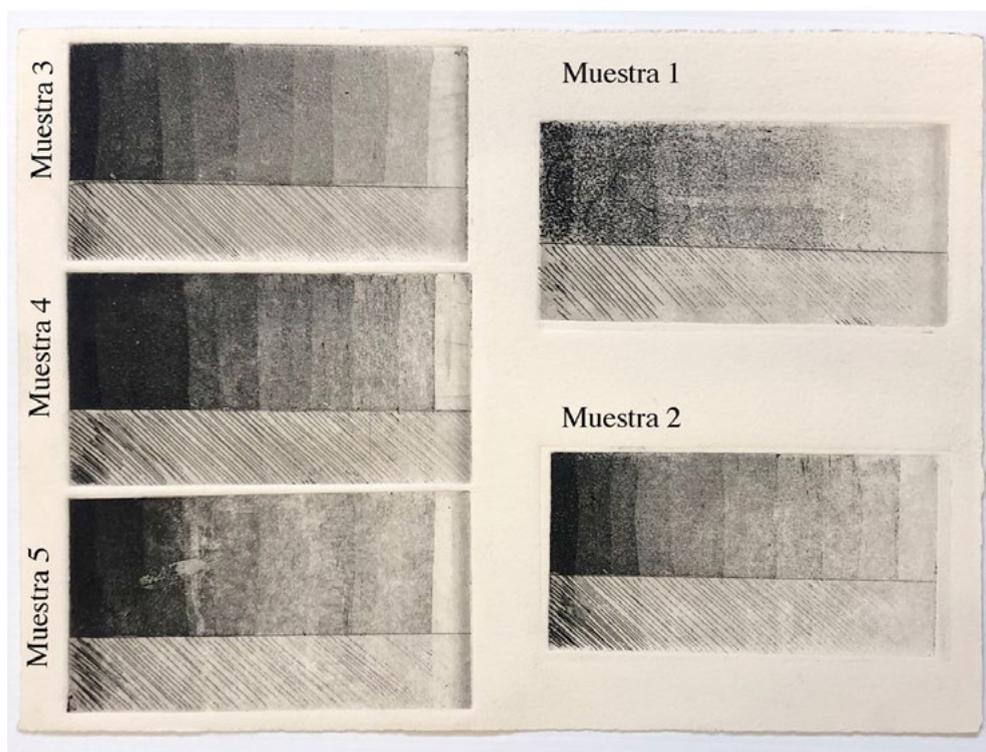


Figura 10

Mordida por inmersión en cubeta sobre las 5 planchas analizadas en el estudio bajo la reacción de la concentración anterior. Fotografía del autor

4.3.- Impresión planográfica sobre planchas fotosensibles

Las planchas de artes gráficas son duraderas, de gran calidad y ofrecen una amplia latitud durante la exposición y el revelado, que ayuda a obtener resultados excelentes en muchas aplicaciones. La reproducción de imágenes o textos sobre planchas de aluminio, aplicable a imágenes artísticas, es posible gracias a la emulsión fotosensible, compuesta por diferentes capas, que tienen por objeto lograr la máxima definición, respecto a la idea original. Los mejores resultados se consiguen con tramas de puntos redondos, aunque también pueden ser cuadrados, una mezcla de ambos con forma elíptica o pueden formar una trama estocástica, que imita el granulado de la fotografía y elimina la ordenación del punto en diferentes ángulos.

La presión ejercida del tórculo hace que en la impresión el punto aumente de volumen y se empaste la imagen. La ganancia del punto en la impresión en prensa tiene un aumento de aproximadamente un 5%. En el entintado manual se recomienda no empastar la matriz, ni subir la presión

en exceso. Hay que tener en consideración la humedad, el tipo de papel, el grado de dilatación, la porosidad, el acabado superficial del papel, las características de la tinta y emplear mantas o fieltros adecuados que no estén muy esponjosos, para conseguir una buena estampa.

Las emulsiones pueden ser ortocromáticas o pancromáticas. Las primeras se manipulan con luz roja y se utilizan para imágenes en blanco y negro. Las pancromáticas se emplean para diferentes tintas y se manipulan a oscuras con luz ultravioleta y en insoladoras de luz actínica de serigrafía. Existen dos tipos de matrices; las que necesitan fotolitos para insolarse, que cada vez son las menos usuales y las planchas térmicas FTP, que ofrecen mejor resolución, un punto de impresión más pequeño y son más sensibles que las anteriores.

Composición de las capas de la emulsión y del metal

La primera de las películas que presenta la superficie de aluminio es la capa protectora. Situada como protección de sustratos inferiores, tiene la misión de aislar el metal de arañazos, marcas y rayones que deterioren la imagen al imprimir. Esta capa se disuelve en el entintado de la superficie. Debajo está la emulsión, compuesta por gelatinas fotosensibles que transfieren la imagen a partir de los principios básicos de la fotografía. La emulsión está formada de granos de diferentes tamaños que se extienden sobre el metal. Mientras mayor sea el grano y más cantidad de plata tenga la emulsión, mayor resolución se consigue. El procesado de las imágenes es similar al de la copia y revelado de un papel fotográfico. La emulsión de las zonas que reciben la exposición de la luz en el revelado se disuelven y las zonas que no reciben luz son las que mantienen la emulsión y recogen tinta. Las demás capas son los sustratos y películas intermedias destinadas a la unión de las anteriores. La penúltima capa es el soporte de aluminio, que debe ser resistente e impermeable, y la última es la capa dorsal que evita que el metal se enrolle por la aplicación de la emulsión (Pozo 2000).

Aplicaciones de resultados fotosensibles sobre aluminio

Aplicaciones fotográficas. Las planchas se pueden tratar fotográficamente con una ampliadora, creando imágenes a partir de rayogramas, diapositivas o negativos, empleando los soportes como si se tratase de un papel fotográfico. Posteriormente se revela la imagen, se lava y protege con goma arábica previo a la impresión.

Levantado de la película fotosensible. Existen en el mercado geles correctores en formato lápiz y brocha que permiten levantar el engomado de la emulsión de manera parcial o total y la aplicación directa sobre el metal con útiles de grabado. Estas planchas se entintan con impresión

planográfica similar a la litografía. También la incisión con útiles de corte es muy cómoda y ofrece múltiples posibilidades.

Impresión en offset. Un recurso utilizado frecuentemente en edición de obra gráfica es la impresión de planchas fotosensibles en máquinas de artes gráficas. Como ventajas permite abaratar costes, la rapidez en la impresión y un resultado idéntico en todas las estampas.

Cuando se trabajan las planchas para imprimir en offset se debe tener en cuenta que en la impresión no hay un concepto de inversión de la imagen respecto al dibujo original como sucede en tórculo o prensa litográfica, ya que la imagen inicialmente se transfiere de la plancha al caucho y de este al papel, generando una estampa similar a la dibujada sobre la matriz. Por lo tanto para imprimir con este sistema, la imagen realizada no debe estar invertida. Antes de hacer la edición se debe considerar el tipo de prensa en la que se realizará, para generar la imagen de un modo u otro, ya que si se ha iniciado el proceso y se cambia de tipo de prensa, el resultado se verá reflejado en el papel.

Insolación manual de las planchas. Las planchas artes gráficas permiten dibujarse directamente con pinturas grasas, yesos y cargas sin aglutinantes, que después de procesar las planchas con insoladora o la luz del sol, se eliminan con agua o disolventes. Se pueden insolar acetatos dibujados a modo de fotolito.

Impresión de imágenes digitales. Las imágenes digitales se pueden imprimir sobre acetato o fotolito para insolar, revelar e imprimir. Cuanto mayor resolución tenga el documento original, bien haya sido escaneado o procesado a través de fotografía, el resultado tendrá mayor fidelidad, menor pixelado y un tamaño del punto más pequeño en la impresión, con lo que mostrará mayor definición en la imagen impresa.

Las ventajas que presenta este proceso sobre la litografía convencional son, que no hay que controlar ni el agua ni la cantidad de tinta que se deposita sobre la plancha, que siempre que se parte de una imagen digital, garantiza un resultado de impresión idéntico al fotolito original, que no se verá afectado como resulta en ocasiones en litografía, por un irregular control del acidulado sobre la piedra o plancha, que puede derivar en la pérdida en ocasiones de tonos de la imagen o partes del dibujo y que tampoco es necesario el reprocesado de las imágenes para estabilizar los tonos.

Permite procesar imágenes en las que se puedan dar situaciones de escalas de grises muy amplias que contengan blancos y grises muy claros hasta negros muy saturados. La litografía por el contrario, no permite el procesado de diferentes escalas de grises dentro de la misma imagen. En la litografía sobre piedra o en algrafía, es posible que suba el tono del dibujo desestabilizándose y por el contrario en este proceso, esta situación no se da.

Las planchas fotosensibles empleadas deben almacenarse lejos de los excesos de calor o frío y de humedad alta. Para realizar los trabajos fotográficos, se deben manipular con luz de seguridad amarilla sin UV, hasta que sean procesadas.

Recortes, unión del aluminio, adhesivos y su estampación. Las técnicas de unión y los adhesivos se valoran por poder enriquecer el lenguaje calcográfico con otras posibilidades. Al igual que se pueden incluir trabajos realizados con cinceles y buriles sobre cualquier otro metal de mayor dureza, también se pueden desarrollar este tipo de trabajos sobre planchas de aluminio, que por su ductilidad se puede modelar, tallar, labrar y dar forma con diferentes medios, como las soldaduras y empleo de adhesivos.

Las diferentes planchas de aluminio, especialmente las destinadas al uso de artes gráficas, por su espesor entre 0,15 mm y 0,40 mm, permiten de manera muy cómoda el corte por incisión. Para ello se presenta como muestra la figura número 11, incluida en el artículo en la que se puede apreciar la superposición en la impresión de diferentes recortes de formas orgánicas irregulares realizadas sobre planchas de aluminio.

En el mercado existen actualmente adhesivos con gran poder de unión, que cumplen unas exigencias máximas para encolar tanto matrices, recortes de metales o elementos sueltos. Estos pegamentos se pueden emplear en grabado sobre aluminio para técnicas como procesos aditivos o cualquier otra variante experimental.

En matrices creadas con adhesivos, soldaduras, procesos aditivos, ready-made, taladros y variantes, los añadidos están condicionados al espesor máximo aproximado de 3 mm y los bordes de las planchas y objetos adheridos tienen que estar biselados para evitar problemas como cortes en las mantas en la estampación o la rotura del papel por la presión. Estas construcciones también se pueden oxidar mediante mordidas en superficie o por inversión en baño. También existen pegamentos de dos componentes específicos para uniones o soldaduras de metal en frío, que ofrecen excelentes resultados. Algunos de ellos tienen una aplicación universal pero otros se prestan especialmente para unir entre sí determinadas parejas de materiales. La resina de poliéster y la fibra de vidrio, aunque también se pueden utilizar para diferentes procesos, no tienen buena capacidad de adherencia y pueden abrir con la presión del tórculo en caso de someter a las matrices construidas a fuertes presiones. Son por tanto más recomendables los pegamentos específicos para a unión de metales. De igual modo, el barniz de poliuretano, empleado habitualmente para procesos aditivos, puede utilizarse como medio aislante para mantener las diferentes formas unidas y protegerlas de los posibles levantamientos. Las soldaduras, cortes y taladrados, son otros procesos que permite el aluminio por sus cualidades al igual que el corte y el cincelado con diferentes herramientas.

Como se ha descrito, este metal se recorta muy fácilmente en cualquier grosor. Se hace una incisión con un cúter por el contorno de las formas a recortar y con diferentes pliegues del metal, por el efecto de fatiga, generalmente las planchas rompen con facilidad por las zonas marcadas.



Figura 11

Grabado realizado con la estampación de una base de mordida en superficie, e impresión de diferentes recortes de aluminio trabajados también con mordidas superficiales. Dimensiones, 75 × 56 cm. Impreso sobre papel Canson Edition de 250 g.

5. Conclusiones

El aluminio generalmente es un metal muy fácil de trabajar por su baja dureza y por su acabado con autoprotección externa, que en muchas ocasiones no necesita aplicación de productos anticorrosivos. Es económico y tiene una elevada relación resistencia-peso como una de sus principales ventajas (Davies 1978). Su baja densidad, $2,7 \text{ g/cm}^3$ lo hace muy ligero, casi un tercio del hierro (densidad $7,87 \text{ g/cm}^3$), cobre ($8,93 \text{ g/cm}^3$) zinc ($7,13 \text{ g/cm}^3$) siendo el peso una de las ventajas para trabajar con él.

Los costes de producción del metal se abaratan por la poca energía que se necesita para llegar a la temperatura de fusión y al ser un metal con una densidad muy baja, esta propiedad revierte en el precio final del producto ya que los metales se venden al peso, teniendo una inmejorable relación calidad precio. Como se muestra en el estudio, resulta 43 veces más económico que el cobre y 12 veces más barato que el zinc.

Los ensayos realizados confirman algunas de las ventajas de las planchas de aluminio para grabar con mordidas en superficie experimentales respecto al cobre y zinc, aunque el cobre ofrece mejores resultados y más fieles respecto al dibujo en procesos tradicionales como aguafuerte y aguatina manteniendo mejor registro y mordida de la línea, aunque son muy similares los conseguidos con aluminio con la diferencia que en mordidas muy prolongadas en procesos como aguafuerte ensancha la talla. Este último metal permite procesos experimentales que no posibles con cobre ni con zinc.

El uso de este metal presenta algunas ventajas técnicas respecto al cobre y zinc a partir del espesor del proceso de laminación, especialmente en la fabricación de planchas fotosensibles (Inigo Martín [King] 1992). En impresión planográfica con planchas fotosensibles se pueden procesar imágenes tanto con fotolitos o directamente mediante ctp en alta resolución con diferentes tonalidades y escalas de grises incluidos blancos y negros que no necesitan estabilizarse como la litografía tradicional o la algrafía.

Con las planchas de artes gráficas también se puede experimentar con recortes de matrices e incisiones, ya que tienen una muy baja resistencia a la fatiga y permiten el corte por incisión y plegado repetido de una manera muy cómoda. También las planchas de artes gráficas aunque sean en formatos grandes permiten enrollarse y por ello su facilidad de transporte como otra de las ventajas.

Referencias bibliográficas

- Aluminium-Zentrale e V. (1959). 1992. *Manual del aluminio: Principios y procedimientos modernos de fabricación*. Supervisores, Johannes Reiprich & Wilhelm von Zwehl; versión española por Carlos Sáenz de Magarola & José Beltrán. Barcelona: Reverté
- Askeland, Donald R. (1984) 2013. *La ciencia e ingeniería de los materiales*. Traductor, J. Gonzalo Guerrero Zepeda; revisores técnicos, Joaquín Lira Olivares, Antonio de Ita de la Torre & Francisco Paniagua Bocanegra. Ciudad de México: Grupo Editorial Iberoamericana
- Birks, Neil & Gerald H. Meier. 1983. *Introducción to high temperature oxidation of metals*. London: Hodder Arnold
- Blas Benito, Javier, ed. 1966. *Diccionario del dibujo y la estampa: Vocabulario y tesoro sobre las artes del dibujo, grabado, litografía y serigrafía*. Ascensión Ciruelos Gonzalo, Clemente Barrena Fernández & Javier Blas Benito. Madrid: Real Academia de Bellas Artes de San Fernando
- Blázquez Martínez, Víctor Manuel et al. (1986) 1993. *Metalotécnica*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid
- Budinski, Kenneth G. (1979) 2010. *Engineering materials: Properties and selection*. Upper Saddle River NJ: Prentice Hall
- Callister, William D. (1995) 2015. *Introducción a la ciencia de los materiales*. Traductor, Pere Molera. Barcelona: Reverté
- Calvo Calvo, Felipe A. 1972. *Metalografía práctica*. Madrid: Alhambra
- Cardarelli, François. (200) 2018. *Materials handbook. A concise desktop reference*. London: Springer
- Davies, Hanlyn & Hiroshi Murata. 1983. *Art & technology: Offset prints*. Exhibition catalog Bethlehem PA: Lehigh University Art Galleries
- Davies, Joseph R., ed. (1998) 2003. *ASM specialty handbook: Aluminum and aluminum alloys*. Prepared under the direction of the ASM Handbook Committee. Ohio IL: ASM The Materials Information Society
- Díaz-Pache Saenz, Francisco, Francisco Javier Alonso García & Rosa María Esbert Alemany. 1995. "La microscopía electrónica de barrido aplicada al estudio de partículas sólidas de contaminación depositadas sobre la piedra monumental". *Revista Digital del Cedex* 101. <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/1100>
- Elexpuru Soloaga, José María. 1995. *Las resinas sintéticas y su aplicación al grabado*. Bilbao: Bilbao Bizkaia Kutxa
- Guljaev, Aleksandr Pavlovic. (1997) 1994. *Metalografía*. Traducido del ruso por Antonio Molina García. Moscú: Mir

- Hind, Arthur Mayger. 1963. *A history of engraving and etching from the 15th Century to the year*. New York: Dover
- Hull, Derek. (1987) 2010. *Materiales compuestos*. Versión española por Rogelio Areal Guerra & Antonio Areal Calama. Barcelona: Reverté
- Inigo Martin, Francisco José [Frank King]. 1992. *El aluminio y sus aleaciones*. Ciudad de México: Limusa
- Jiménez Colilla, José Félix. 2004. "Optimización de la sinterización con fase líquida de la aleación de aluminio AA2014 mediante la adición de trazas de Al-12Si". Proyecto fin de Carrera, Univ. Carlos III de Madrid
- Jokinen, Antero & Peter Andersson. 1990. "Tribological properties of PM aluminium alloy matrix composites". En *Advances in powder metallurgy: Proceedings of the 1990 Powder Metallurgy Conference & Exhibition*, Eugene R. Andreotti & Patrick J. McGeehan, eds., 517-530. Princeton NJ: Metal Powder Industries Federation
- Jones, D. A. 1992. *Principles and prevention of corrosion*. Upper Saddle River NJ: Prentice Hall
- Kirk, Raymond E. & Donald F. Othmer, dirs. 1966. *Enciclopedia de tecnología química*. Con la colaboración de 1230 especialistas; traducción del inglés por Óscar G. Carrera et al. Ciudad de México: Uteha-Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana
- López Alonso, Francisco. 2006. "Estudio del aluminio como matriz de grabado". Tesis Univ. Computense de Madrid
- López Isla, Javier. 1978. *Procesado de las planchas para offset*. Barcelona: Edebé
- Molera Solá, Pere. 1991. *Tratamientos térmicos de los metales*. Barcelona: Marcombo
- Morral, Facundo Rolf, Emilio Jimeno Gil & Pere Molera Solá. 1982. *Metalurgia general*. Barcelona: Reverté
- Paricio Latasa, Álvaro. 1984. "La plancha grabada: Recubrimientos electrogalvánicos". Tesis Univ. Computense de Madrid
- Pino Vaquero, Carlos del. 2001. "Estudio tribológico de materiales compuestos con matriz de aluminio reforzados con cerámicos". Proyecto fin de Carrera, Univ. Carlos III de Madrid
- Polmear, Ian James. (1981) 1989. *Light alloys: Metallurgy of the light metals*. London: Edward Arnold
- Poza Lleida, José María de la. 1991. *El aluminio: Características y aplicaciones*. Barcelona: Oikos-Tau

- Rubio Martínez, Mariano. 1979. *Ayer y hoy del grabado y sistemas de estampación : Conceptos fundamentales, historia, técnicas*. Tarragona: Tarraco
- Ruiz Navas, Elisa María, María Luisa Delgado Tienda & José Manuel Torralba Castelló. 2000. "Development of aluminium alloys and metal matrix composites by powder metallurgy". *Advanced Materials Research* 23: 51-58. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.23.51>
- Ruiz Navas, Elisa María. 1999. "Materiales compuestos de matriz de aluminio reforzados con carburos: Optimización del proceso de obtención vía aleación mecánica". Tesis Univ. Politécnica de Madrid
- Smith, William Fortune. 1981. *Structure and properties of engineering alloys*. New York: McGraw-Hill
- Verhoeven, John. D. (1975) 1987. *Fundamentos de metalurgia física*. Versión española, Osvaldo Silva Luna. Ciudad de México: Limusa

Recursos web

- <http://www.alu-stock.es/tecnica/proteccion.html>
- <http://www.aughinish.com/manufacturing.html>
- <https://ferreteriadelolmo.es/25-aluminio>
- <https://sugraf.es/offset/>
- <https://totenart.com/planchas-y-matrices/planchas-para-litografia>
- <https://www.sugraival.com/productos-graficos/Equipos%20CtP/5>

Notas

1. Datos facilitados por el Catedrático Dr. A. Carmelo Prieto Colorado, Dpto. de Física de la Materia Condensada, Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias. "Materiales semiconductores y nanoestructuras para la optoelectrónica", Universidad de Valladolid.
2. Existen 3 tipos de ensayos de tracción sobre materiales, donde se comparan unos metales con otros mediante las diferentes escalas de dureza. Estas son Brinell, Rockwell y Vickers. Miden la resistencia de materiales metálicos por medio de impactos. Son ensayos que consisten en aplicar fuerza sobre una probeta con un penetrador de diamante o acero, estableciéndose en función de la depresión producida en el metal una dureza dentro de una escala, que se configura con los diferentes valores de los metales sobre los que se ha ensayado. La escala de dureza Brinell es un ensayo que se realiza aplicando fuerza con una máquina hidráulica de precisión sobre una probeta, en la que queda la muesca realizada en el ensayo. Éstos se miden dependiendo de la huella que deje el balón sobre la superficie. Dependiendo de la dureza del material se aplica una carga de 3.000 Kg o de 500 Kg.
3. <https://ferreteriadelolmo.es/25-aluminio>
4. <https://sugraf.es/offset/>
5. <https://www.sugraval.com/productos-graficos/Equipos%20CtP/5>
6. El cloruro de hierro III empleado para realizar las mordidas se utiliza en estado líquido en concentraciones industriales preparadas en su porcentaje mas alto. La densidad y masa de algunos líquidos se mide en la escala de grados Baumé y en el caso del cloruro de hierro su preparación máxima corresponde con 40°Ba. Existe la posibilidad de trabajar con cloruro de hierro sólido en perlas, que se deben mezclar con agua para preparar una concentración adecuada y realizar mordidas en superficie, pero para realizar la disolución e igualarla a la proporción comercializada con su máxima pureza se necesita un densímetro, por lo que es recomendable el uso de soluciones convencionales estandarizadas.
7. Reacción facilitada por Lamata Cristóbal, María del Pilar, Catedrática de Universidad. Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Zaragoza.

(Artículo recibido: 06/02/2023; aceptado: 01/03/2023)

